



Modélisation ontologique pour l'analyse de comportements de navires à risques

Arnaud Vandecasteele, Aldo Napoli

► To cite this version:

Arnaud Vandecasteele, Aldo Napoli. Modélisation ontologique pour l'analyse de comportements de navires à risques. Colloque SAGEO 2013 - Spatial Analysis and GEOmatics, Sep 2013, Brest, France. 12 p. hal-00850622

HAL Id: hal-00850622

<https://hal-mines-paristech.archives-ouvertes.fr/hal-00850622>

Submitted on 7 Oct 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Modélisation ontologique pour l'analyse de comportements de navires à risques

A. Vandecasteele¹, A. Napoli²

1. Memorial University of Newfoundland, Department of Geography
St. John's (NL), A1B 3X9, Canada
a.vandecasteele@mun.ca

2. MINES ParisTech – Centre de recherche sur les Risques et les Crises
Rue Claude Daunesse – CS 10207
F-06904 Sophia Antipolis, France
aldo.napoli@mines-paristech.fr

RÉSUMÉ. Cet article se propose d'étudier les potentialités des ontologies spatiales à la fois comme objet de modélisation, de partage et d'inférence afin d'améliorer l'analyse de comportements des navires à risque. Pour cela, un système de surveillance maritime composée de trois principales ontologies a été développé. Puis, les règles d'inférences nécessaires à la détection des alertes ont été définies par les experts du domaine maritime. Enfin, un moteur de Raisonnement à Partir de Cas permet de déterminer automatiquement les scénarios potentiels issues de l'interprétation d'une situation à risque. Au final, l'objectif est de fournir aux experts du domaine un environnement adapté permettant la modélisation des connaissances spatiales. L'approche adoptée a été mise en application au sein du prototype FishEye.

ABSTRACT. This paper explores the modeling, sharing and inferring capacities of spatial ontologies to analyze abnormal maritime behavior. To achieve this, a maritime surveillance system composed of three ontologies has been developed. Then, the inference rules needed for the detection of the alerts have been defined by the maritime experts. Finally, a Case Based Reasoning engine that analyzes a potential risky situation is used to automatically determine the potential scenarios. The purpose of this system is to provide to the maritime experts a suitable environment where spatio-temporal knowledge can be modeled. This approach has been implemented into the FishEye prototype.

MOTS-CLÉS : ONTOLOGIE, MODELISATION DES RISQUES, SURVEILLANCE MARITIME
KEYWORDS: ONTOLOGY, RISK MODELLING, MARITIME SURVEILLANCE

1. Introduction

Chaque jour, plusieurs dizaines de milliers de navires transitent par les océans. Dans ce flot continu et en raison des limites des systèmes de surveillance actuels, certains d'entre eux profitent de cette situation pour exercer des activités illégales (trafic de drogues ou de clandestins, pêche illégale, dégazage, etc.). A titre d'exemple, il est estimé que 70% de la cocaïne est transportée par voie maritime et 82% des réserves halieutiques en Méditerranée sont surexploitées (UNCD, 2011).

Face à ces différentes menaces, les opérationnels en charge de la surveillance maritime du domaine disposent d'outils spécifiques à la gestion et à l'analyse du trafic comme SPATIONAV pour la France, SIVE pour l'Espagne ou encore MEVAT pour la Finlande. Si ces outils apportent aux opérationnels une aide certaine, plusieurs limites ont néanmoins été observées (Riveiro and Falkman, 2010). L'une des principales portent sur la représentation des connaissances au sein de ces systèmes. En effet, pour définir un comportement suspect, ces experts utilisent des heuristiques acquis pour la plupart de par leur expérience. Ces heuristiques s'appuient sur des faits comme « *le navire est proche d'une côte* ». Mais, si pour l'expert en charge de la surveillance maritime ce fait est déduit naturellement, sa transcription dans un système informatique est problématique. En effet, de quel type de navires s'agit-il ? Ce fait est-il spécifique à tous les navires ou à une seule catégorie ? Qu'entend-t-on par proche ? Répondre à ces questions au sein d'un système d'aide à la décision nécessite de disposer de formalismes de représentation riches permettant de traduire la complexité de ces situations. Pour cela, nous proposons dans cet article d'explorer l'utilisation des ontologies à la fois comme réceptacle de connaissances mais aussi comme moteur d'inférence. La méthode proposée a ensuite été mise en application au sein d'un système de surveillance pour l'analyse de comportements de navires à risques.

Cet article est composé de quatre principales sections. La première présente le domaine des ontologies et plus particulièrement celui des ontologies spatiales. La seconde section décrit la méthode adoptée ainsi que l'ontologie développée. Dans la dernière section, différents cas basés sur des données réelles illustre l'approche proposée. Une analyse de cette approche ontologique ainsi que les futures évolutions potentielles sont abordées en conclusion.

2. Formalisation de la connaissance spatiale au sein des ontologies

La représentation de la connaissance dans un système informatique est intrinsèquement liée au formalisme de représentation utilisé. A l'heure actuelle, c'est le domaine des ontologies qui propose les structures de représentation les plus riches.

2.1. Des ontologies aux ontologies spatiales

Bien qu'originellement rattachée au domaine de la philosophie, la notion d'ontologie est considérée dans cet article sous l'angle de l'Intelligence Artificielle (IA). Studer *et al.* (1998) définissent l'ontologie comme : « une spécification formelle et explicite d'une conceptualisation partagée ». D'une manière plus formelle, une ontologie est constituée d'un vocabulaire spécifique permettant une description du domaine sous la forme d'un graphe constitué de concepts et de relations. Celui-ci peut alors être décrit de la manière suivante : $O: \{C, R, HC, rel, A0\}$ où C et R sont un ensemble disjoints de concepts et de relations, HC une hiérarchie (taxonomie) entre ces concepts, rel une fonction spécifiant la relation (non taxonomique) de R et enfin $A0$ un ensemble d'axiomes exprimé dans un langage ontologique (Baglioni et al., 2011).

Tout comme dans le domaine de l'Intelligence Artificielle (IA), on retrouve dans l'utilisation des ontologies appliquées aux Systèmes d'Information Géographique (SIG) cette orientation à la fois philosophique et informatique. Bien que Laurini (2007) ait démontré que les ontologies pouvaient être utilisées à la fois pour aboutir à un consensus entre les acteurs d'un domaine et à une interopérabilité entre systèmes d'information, Agarwal (2005) souligne que les différents travaux scientifiques alliant SIG et ontologies se sont essentiellement appuyés sur les potentialités de chacun des domaines sans pour autant former une véritable discipline commune. Par exemple, bien qu'il existe déjà des projets modélisant la dimension spatiale sous une forme ontologique (ex : Ordonnance Survey¹, W3C² etc.) ainsi que des extensions du langage OWL (Cullot et al., 2003, Stocker and Sirin, 2009), il n'existe actuellement aucun standard permettant la représentation de données spatiales dans les ontologies ni de procédures de raisonnement spatial dans les moteurs d'inférence (Vandecasteele, 2012).

2.2. Représentation ontologique des objets mobiles

Dans la littérature, plusieurs modèles pour la représentation des trajectoires ont été proposés. Ces derniers varient tant au niveau des thématiques auxquels ils s'appliquent qu'aux besoins auxquels ils répondent. Par exemple, le modèle proposé par Mouza et Rigaux (2005) permet uniquement l'identification de motifs de trajectoires dont les déplacements seraient déjà connus. Le modèle de Brakatsoulas *et al.* (2004) définit un modèle sémantique ainsi que les relations potentielles mais uniquement pour le domaine routier. Plus générique, le modèle proposé par Spaccapietra *et al.* (2008) introduit un ensemble de concepts permettant de relier des informations à des événements spécifiques (*stops, moves, etc.*) et ainsi d'obtenir une trajectoire enrichie sémantiquement. Du fait de sa modularité, l'ontologie présentée dans le paragraphe suivant s'appuie en partie sur le modèle de Spaccapietra.

¹ <http://www.ordnancesurvey.co.uk/oswebsite/ontology/>

² <http://www.w3.org/2005/Incubator/geo/>

3. Une approche ontologique pour l'analyse des comportements de navires

Modéliser les comportements anormaux de navires nécessite au préalable de formaliser la connaissance du domaine. L'utilisation d'un langage de formalisation comme les ontologies permet d'obtenir une description enrichie tout en permettant d'effectuer des raisonnements. Pour cela, en s'appuyant sur le modèle proposé par Yan (2011) une infrastructure composée de trois ontologies a été développée. L'union de ces différentes ontologies permet alors de disposer des notions nécessaires à la description du comportement d'un navire. Cette description a été réalisée à l'aide de la connaissance des experts puis intégrée au sein de différentes ontologies qui forment le cœur de la plate-forme développée dans ces travaux de recherche. Bien que le fonctionnement général du système ainsi que l'utilisation des règles d'inférence aient déjà été présentés (Vandecasteele et Napoli, 2012; 2012a), nous nous attachons ici à décrire les concepts ontologiques sur lesquels reposent ces travaux.

3.1. Modélisation du contexte sémantique

Afin de comprendre le comportement d'un navire, sa position seule ne suffit pas. En effet, ce comportement s'analyse au travers d'une multitude d'informations (condition météorologique, navires à proximité, etc.) qu'il est nécessaire de prendre en compte. C'est là toute l'idée du concept de comportement sémantique. Ainsi, la position, le segment ou le trajet d'un navire sont enrichies par l'ajout d'informations contextuelles qui seront ensuite utilisées lors du processus d'inférence. Pour cela, en s'appuyant sur le modèle initialement développé par Yan (2011) trois principales ontologies ont été créées :

- Une ontologie des trajectoires contenant les différents concepts spatio-temporels nécessaires à la description géométrique des trajectoires. Ces concepts géométriques peuvent être donnés de manière absolue sous la forme d'objets géographiques (points, lignes, etc.) ou relative comme une adresse;
- Une ontologie géographique contenant les concepts spécifiques à la description du territoire (routes, ports, baies, etc.). Cette ontologie est reliée à la fois à l'ontologie des trajectoires par les concepts géométriques qu'elle utilise et à l'ontologie du domaine pour les thématiques spécifiques qui peuvent être ajoutées en fonction des besoins ;
- Une ontologie du domaine qui, comme son nom l'indique, est relative au domaine étudié. Celle-ci contient les concepts permettant d'enrichir les informations initialement contenues et d'apporter ainsi une connaissance spécifique au sein de l'application.

Dans le cadre de ces travaux, le modèle proposé par Yan (2011) a été étendue afin non pas de modéliser uniquement les trajectoires, mais aussi d'en déduire des événements (alertes) et surtout d'identifier automatiquement les scénarios potentiels. Bien que l'ontologie pour l'analyse des comportements anormaux s'appuie sur trois

sous-ontologies, l'essentiel des travaux réalisés a porté sur celle concernant la modélisation du domaine maritime. En effet, conformément au précepte ontologique de réutilisabilité, celles sur les trajectoires et la géographie ont été créées en s'appuyant sur des ontologies déjà existantes. Par exemple, les éléments géographiques et temporels ont été définies en utilisant les ontologies *GeoRSS Simple*³ et *OWL Time*⁴. Pour les trajectoires, l'approche présentée par Spaccapietra a été implementée. De ce fait, seule l'ontologie du domaine sera décrite dans cet article.

3.2. Ontologie du domaine : l'analyse de comportements anormaux de navires

En accord avec la typologie donnée par Guarino (1998), l'ontologie du domaine présentée dans ce document doit être considérée comme une ontologie d'application. La modélisation du domaine a été réalisée lors de séances de travail avec les experts maritimes (garde-côtes, gendarmerie maritime, etc.) mais aussi en s'appuyant sur la littérature scientifique existante (Nilsson et al., 2008; Van Laere and Nilsson, 2009; Roy and Davenport, 2010). Les éditeurs d'ontologies actuels ne permettant pas une utilisation intuitive sans connaissance préalable, il n'a pas été possible pour les experts de modéliser directement les notions souhaitées. Cette étape a donc été réalisée dans un second temps par le modélisateur. Puis le résultat, sous la forme d'une ontologie, a été présenté aux experts pour validation. De plus, il est nécessaire de préciser que même si en situation à risque les manœuvres entreprises ne sont pas toujours respectueuses du règlement maritime (Le Pors, 2010), seules les règles formelles ont été implementées.

3.2.1 Principales classes de l'ontologie du domaine

Quatre classes principales structurent l'ontologie du domaine permettant l'analyse de comportements des navires :

- La classe *Alert* : cette classe contient les différentes alertes relatives à un navire. Ces dernières ont été définies en collaboration avec les experts du domaine. Différentes sous-classes ont été créées en fonction de la thématique des alertes. Sont par exemple répertoriées, celles relatives à l'état de la mer, à la localisation ou à la cinématique du navire. Certaines de ces alertes nécessitent la prise en compte de la dimension spatiale. Dans ce cas, il est nécessaire d'ajouter aux individus la propriété de donnée *DP_Analysis_DataPath* indiquant la localisation des données géographiques à utiliser. Les alertes peuvent être reliées aux autres concepts de l'ontologie grâce à la propriété d'objet *has_alert*.
- La classe *Vessel* : cette classe contient toutes les notions relatives aux navires. Elles permettent de décrire un navire en précisant par exemple son type ou encore son pavillon d'origine.

³ <http://www.w3.org/2005/Incubator/geo/>

⁴ <http://www.w3.org/2006/time>

- La classe *Scenario* : dans cette classe les experts du domaine définissent le comportement d'un navire. Un scénario est composé de notions provenant des trois classes précédentes. Les experts construisent alors un scénario en fonction des alertes, des éléments du contexte et des caractéristiques du navire ou des navires.

3.2.2. Modélisation des alertes et des scénarios

Dans l'ontologie du domaine, la classe *Alert* permet de spécifier un événement inhabituel ou suspect. Deux grands types d'alertes peuvent être distingués. Les alertes à caractère spatial et celles à caractère non spatial. Les concepts définis dans cette classe seront ensuite utilisés pour la description des scénarios et l'enrichissement de la base de connaissance. Les alertes spatiales s'appuient directement sur les éléments géographiques. Il s'agit par exemple de signaler l'entrée d'un navire dans un espace soumis à une réglementation spécifique, d'identifier une trajectoire particulière ou encore de détecter une zone où les conditions météorologiques sont mauvaises (Figure 1). Ces alertes spatiales s'appliquent aussi bien à des événements ponctuels (mouillage d'un navire) que linéaires (trajectoire anormale).

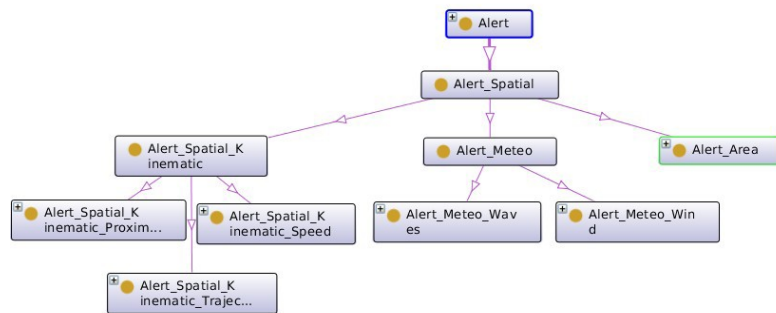


Figure 1 : Sous-classes de la classe *Alert_Spatial*

La notion de scénario, telle que définie dans l'ontologie, est composée d'une suite d'événements qui peut être enrichie par des éléments contextuels. Les scénarios potentiels ont été renseignés par les experts du domaine. Tout comme les alertes, les scénarios potentiels ont été divisés par thématique. A l'heure actuelle, quatre sous-classes ont été définies (Figure 2) :

- *Scenario_Attack* : il décrit les cas d'attaques potentiels. Il s'agit par exemple d'une attaque terroriste ou encore d'une attaque à l'aide d'un tanker.
- *Scenario_Fishing* : il s'agit dans ce cas de scénarios liés à la pêche. Sont notamment définis ceux en rapport au transbordement ou encore la pêche illégale.
- *Scenario_Traffic* : ce scénario est relatif à tous les types de trafic potentiel. Il peut s'agir d'un trafic de marchandises, d'armes ou de drogues.

- *Scenario_Trajectory* : il porte sur les scénarios prenant en compte la trajectoire du navire. Cela peut être par exemple nécessaire pour détecter une future collision.

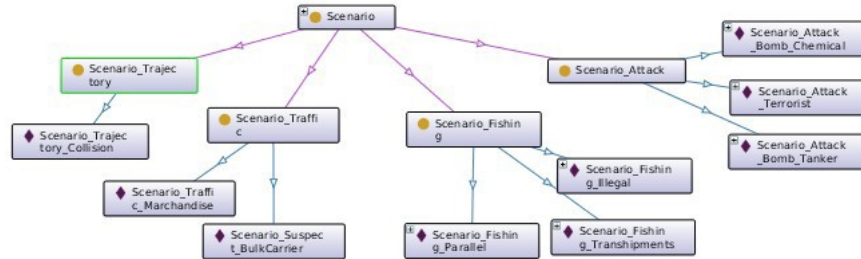


Figure 2 : Sous-classes et instances pour la description des scénarios

La modélisation des scénarios utilise les différentes notions de l'ontologie provenant de la classe Alert, Context ou Vessel. Ces scénarios sont par la suite utilisés par le moteur de Raisonnement À Partir de Cas (RÀPC) pour identifier les comportements anormaux.

3.2.4. Modélisation du navire

Au cœur de l'analyse de comportement, il y a bien évidemment l'objet à étudier, le navire lui-même. Celui est représenté dans l'ontologie par la classe Vessel qui regroupe l'ensemble des notions importantes à sa caractérisation (Figure 3). Différentes sous-classes ont été définies et permettent par exemple d'annoter son comportement, son historique ou encore son type. Les navires identifiés comme suspects sont stockés dans l'ontologie sous la forme d'instance de la classe VOI (*Vessel Of Interest*).

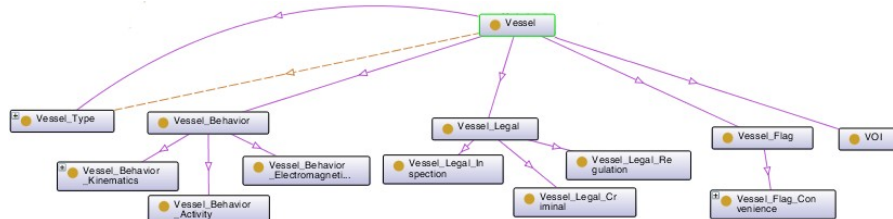


Figure 3 : Sous-classes de la classe Vessel

3.3. Modélisation des règles d'inférence et enrichissement du SWRL

Une fois le domaine modélisé, il est alors possible d'ajouter des règles permettant l'analyse du comportement des navires. Celles-ci peuvent être vues comme des déclencheurs qui vont modifier l'ontologie en fonction de la satisfaction ou non de la règle. La représentation et l'intégration des règles dans l'ontologie ont été réalisées à l'aide du langage Semantic Web Rule Language (SWRL). Celui-ci enrichit la sémantique d'une ontologie en combinant le langage OWL-DL et RuleML

(Horrocks et al., 2004). Basée sur les logiques de description et les règles de Horn, la structure d'une règle SWRL est de la forme antécédent(s) \rightarrow conséquence(s) qui signifie : « si l'antécédent est vrai, alors la conséquence l'est aussi ». En plus des prédicats OWL, SWRL possède également des fonctions supplémentaires (mathématiques, booléennes, etc.) nommées 'built-in' (Grau et al., 2008). Ces derniers étendent les fonctions initialement proposées par le langage OWL en permettant par exemple d'effectuer des comparaisons et des calculs. De la même manière, cette approche sous la forme de 'built-in' a été adoptée afin d'intégrer des fonctionnalités spatiales aux SWRL. Ainsi, tout comme les opérateurs mathématiques ou ceux portant sur les chaînes de caractères, l'intégration de la dimension spatiale se fait au moyen de mots clé. Ces mots-clés, que l'on retrouve également dans le domaine des bases de données spatiales, sont par exemple : *touches*, *intersects*, etc. Cette approche permet ainsi de bénéficier de toute la richesse sémantique proposée par les ontologies tout en intégrant la composante géographique.

Par exemple, pour spécifier que l'entrée d'un navire dans une zone réglementée doit déclencher une alerte, la règle SWRL ci-dessous a été définie. Celle-ci prend en paramètres, le navire (*vessel*) ainsi que sa position (*position*), la couche de données sur laquelle portera l'analyse (*Alert_Area_Restricted*) et enfin la fonction spatiale à réaliser (*intersects*). Si cette analyse est positive alors une alerte est automatiquement ajoutée au navire correspondant (*Alert_Area_Restricted*) :

Règle SWRL 1. Entrée d'un navire dans une zone réglementée

```

1: Vessel(?vessel),
2: DP_Analysis_DataPath(Alert_Area_Restricted, ?geoData),
3: DP_Vessel_hasPosition(?vessel, ?position),
4: intersects(?position, ?geoData)  $\rightarrow$ 
5: OP_Alert_hasAlert(?vessel, Alert_Area_Restricted)

```

Les règles spatiales sont directement prises en compte et calculées par le système. Pour cela, le moteur d'inférence Pellet⁵ a été étendu par l'ajout d'un module géographique. Ce module ainsi que les fonctions spatiales ont été développés dans le cadre de ces travaux de recherche.

4. Expérimentations et évaluations

L'approche proposée a ensuite été mise en application au sein du système de surveillance maritime développé par le Centre de recherche sur les Risques et les Crises : FishEye. Celui-lui offre aux experts du domaine un ensemble d'éléments pour la modélisation et l'analyse de comportements anormaux de navires. Afin d'illustrer le fonctionnement de cette plate-forme, le cas d'un navire à risque entrant dans une zone réglementée est présenté cette section.

⁵ <http://clarkparsia.com/>

4.1. Scénario d'un navire dangereux dans une zone réglementée

Certaines zones sont, pour des questions de sécurité, interdites à la navigation. L'entrée d'un navire dans l'une d'entre elles doit donc générer une alerte afin d'informer l'opérateur en charge de la surveillance. Ce type d'analyse fait appel à une fonction spatiale de type intersection (*intersects*) et aux données du SHOM⁶ dans lesquelles sont décrites ces zones. Dans le cas présenté, il s'agit plus précisément d'identifier les navires ayant été potentiellement détournés afin de servir comme arme potentielle.

4.2. Modélisation du scénario

Ce scénario nécessite de disposer d'informations concernant notamment le type du navire, les conditions de navigation ainsi que les zones traversées. Pour cela, deux requêtes spatiales sont nécessaires. La première qui va permettre de savoir si un navire s'est rendu dans le port d'un pays identifié comme étant à risque et la seconde qui signale si ce même navire entre dans une zone réglementée (Règle SWRL 1). Ces deux requêtes font appel à la même fonction spatiale *intersects* mais avec des jeux de données différents.

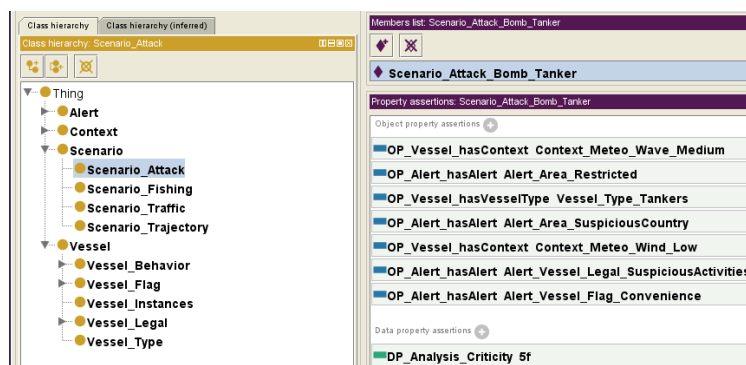


Figure 4 : Description du scénario de type attaque de tanker

En fonction du type du navire, trois scénarios, constitués de sept propriétés d'objets (contexte dans lequel évolue le navire, son type, les zones, etc.), ont été créés. L'illustration ci-dessus (Figure 4), présente les paramètres nécessaires à l'identification du scénario par l'attaque d'un tanker. Les différentes alertes (*Alert_Area_Suspicious*, *Alert_Vessel_Flag_Convenience*, etc.) inhérentes à ce scénario ainsi que les éléments contextuels (*Context_Meteo_Wind_Low*, *Context_Meteo_Wave_Medium*, etc.) ont été définis. Enfin, pour chaque scénario un niveau de criticité est spécifié (*DP_Analysis_Criticity*). Celui-ci sera utilisé pour définir le niveau de dangerosité du navire et le mettre en évidence lors de l'affichage sur l'interface cartographique FishEye.

⁶ Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (<http://www.shom.fr/>)

4.3. Analyse du comportement et visualisation des résultats dans FishEye

Une fois les scénarios modélisés, il est alors possible de créer dans l'ontologie les individus et de vérifier la concordance des règles et des scénarios. Pour cela deux étapes sont nécessaires. Dans un premier temps, le moteur d'inférence (spatial et non spatial) va détecter les alertes potentielles (*Alert_Area_Restricted*, etc.) en fonction des caractéristiques du navire, de sa position et de sa trajectoire. Puis, dans un second temps, le module de Raisonnement à Partir de Cas va mettre en correspondance les scénarios préalablement définis et la situation observée. Les informations automatiquement calculées par le moteur d'inférence peuvent ensuite être analysées par le module de RàPC. Celui-ci va alors automatiquement définir les scénarios ayant la plus forte occurrence et définir le niveau de criticité en comparant les alertes et les éléments contextuels du navire avec ceux définis pour chaque scenario.

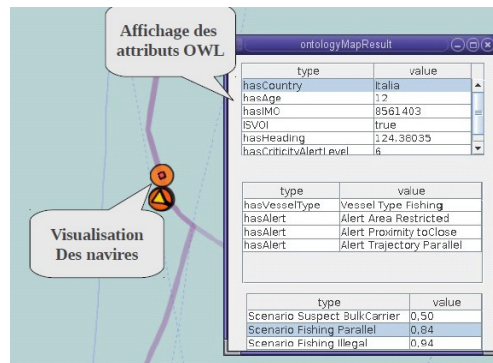


Figure 6: Détection de comportements anormaux dans FishEye

Enfin, l'affichage du résultat des analyses effectuées se fait à partir du système de surveillance maritime FishEye (Figure 6). Cette visualisation offre un accès direct et intuitif aux informations sémantiques. Néanmoins, pour des questions de performances et malgré une étape préalable d'optimisation des données, le système proposé ne peut, pour le moment, être utilisé en temps réel. En effet, l'ensemble du processus se fait directement à partir du fichier OWL. À terme, une base de données sémantique (triplestore) sera utilisée. Cela permettra d'optimiser le processus et ainsi envisager l'utilisation du système en temps réel.

5. Conclusion

La modélisation des navires à risque sous la forme d'une ontologie proposée dans ce document offre un cadre formel tout en permettant de disposer de procédures de raisonnement. À partir de cette ontologie une plateforme de modélisation a été conçue permettant de spécifier les alertes et les scénarios maritimes à détecter. Un risque maritime étant spatio-temporel, le langage SWRL a été enrichi afin de

manipuler des objets spatiaux ainsi que des fonctions spatiales comme l'inclusion ou l'intersection. Enfin, la correspondance entre les scénarios préalablement définis et une situation donnée se fait grâce à un moteur de Raisonnement à Partir de Cas.

Bien que fonctionnelle, plusieurs améliorations de la plateforme Fisheye ont été envisagées. Tout d'abord, une extension intégrant le langage de requête SPARQL et son extension spatiale GeoSPARQL serait pertinente. Celle-ci permettrait alors aux utilisateurs d'explorer les résultats obtenus afin de confirmer ou affiner les scénarios détectés. De plus, bien que les langages ontologiques offrent les éléments nécessaires à la modélisation des connaissances, la formalisation de celles-ci restent difficiles pour des personnes extérieures au domaine. Même si certains éditeurs d'ontologies comme Protégé offre une interface conviviale, ceux-ci s'adressent néanmoins à des utilisateurs connaissant déjà les concepts inhérents aux ontologies. Or, dans notre ontologie la définition des règles permettant de spécifier les alertes ainsi que la création des scénarios se font en utilisant directement le langage OWL et SWRL. Il est bien évidemment difficile de demander à un expert maritime (CROSS, gendarmerie maritime, etc.) ne disposant pas de ce type de compétences de réaliser cette implémentation. C'est pourquoi la création d'interfaces spécialement adaptées au domaine étudié pourrait être une solution. Enfin, le stockage des individus (navires, scénarios, etc.) se fait actuellement directement dans le fichier OWL. Si cette solution est techniquement plus simple, elle entraîne également des performances moindres. De ce fait, une évolution du système intégrant une base de données sémantique est envisagée.

Bibliographie

- Agarwal, P., (2005). Ontological considerations in GIScience. *International Journal of Geographical Information Science* 19, 501–536.
- Baglioni, M., Masserotti, M.V., Renso, C., Spinsanti, L., (2011). Improving Geodatabase Semantic Querying Exploiting Ontologies, in: *GeoSpatial Semantics*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 16–33.
- Brakatsoulas, S., Pfoser, D., Tryfona, N., 2004. Modeling, storing and mining moving object databases. *Database Engineering and Applications Symposium*, 2004. IDEAS '04, pp. 68 – 77.
- Culot, N., Parent, C., Spaccapietra, S., Vangenot, C., 2003. Des ontologies pour données géographiques. *Revue internationale de géomatique, Les SIG sur le web* 13, 285–306.
- Grau, B.C., Horrocks, I., Motik, B., Parsia, B., Patel-Schneider, P., Sattler, U., (2008). OWL 2: The next step for OWL. *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web* 6, 309–322.
- Guarino, N., (1998). Formal Ontology and Information Systems, in: *Proceedings of FOIS'98*. IOS Press, Trento, Italy, pp. 3–15.
- Horrocks, I., Patel-Schneider, P., Boley, H., Tabet, S., Grosz, B., Dean, M., 2004. SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML.

- Kuhn, W., (2001). Ontologies in support of activities in geographical space. *International Journal of Geographical Information Science* 15, 613–631.
- Laurini, R., (2007). Pre-consensus Ontologies and Urban Databases., in: *Ontologies for Urban Development, Studies in Computational Intelligence*. Springer, pp. 27–36.
- Le Pors, T., (2010) Simulation cognitive de la prise de décision d'experts. Application au trafic maritime. Thèse de Doctorat, IRENav - LESTICC, Univ. de Bretagne Sud.
- Mouza, C. du, Rigaux, P., 2005. Mobility Patterns. *Geoinformatica* 9, 297–319.
- Nilsson, M., van Laere, J., Ziemke, T., Edlund, J., (2008). Extracting rules from expert operators to support situation awareness in maritime surveillance, in: *11th International Conference on Information Fusion*. Presented at the 2008 11th International Conference on Information Fusion, IEEE, pp. 1–8.
- Riveiro, M., Falkman, G., (2010). Supporting the Analytical Reasoning Process in Maritime Anomaly Detection: Evaluation and Experimental Design, in: *Information Visualisation (IV), 2010 14th International Conference*. Presented at the Information Visualisation (IV), 2010 14th International Conference, pp. 170–178.
- Spaccapietra, S., Parent, C., Damiani, M.L., de Macedo, J.A., Porto, F., Vangenot, C., 2008. A conceptual view on trajectories. *Data & Knowledge Engineering* 65, 126–146.
- Roy, J. et Davenport, M., (2010). Exploitation of maritime domain ontologies for anomaly detection and threat analysis, in: *Waterside Security Conference (WSS), 2010 International*. Presented at the Waterside Security Conference (WSS), 2010 International, pp. 1–8.
- Stocker, M., Sirin, E., 2009. PelletSpatial: A Hybrid RCC-8 and RDF / OWL Reasoning and Query Engine. *Language* 529.
- Studer, R., Benjamins, V.R., Fensel, D., (1998). Knowledge engineering: Principles and methods. *Data & Knowledge Engineering* 25, 161–197.
- UNCD, (2011). Review of Maritime Transport 2011 (No. UNCTAD/RMT/2011). United Nations Conference on Trade and Development.
- Vandecasteele A., et Napoli A. (2012). Using Spatial Ontologies for Detecting Abnormal Maritime Behaviour ; Conférence internationale IEEE OCEANS 2012 ; Yeosu, Korea.
- Vandecasteele A. et Napoli A., (2012a). Enhancement of Ontology with Spatial Reasoning Capabilities to Support Maritime Anomaly Detection ; Conférence internationale IEEE SOSE 2012 (7th International Conference on System Of Systems Engineering), Gênes, Italie, 16-19 juillet 2012.
- Van Laere, J., Nilsson, M., (2009). Evaluation of a workshop to capture knowledge from subject matter experts in maritime surveillance, in: *12th International Conference on Information Fusion, 2009. FUSION '09*. IEEE, pp. 171–178.
- Yan, Z., (2011). Semantic Trajectories: Computing and Understanding Mobility Data (Phd).